

ций на его основе / Т. В. Орловская, С. А. Кулешова // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции: сб. науч. тр. / Пятигорская ГФА. – Пятигорск, 2011. – Вып. 66. – С. 550–551.

13. Zimmet, P. Preventing type 2 diabetes and the dysmetabolic syndrome in the real world: a realistic view / P. Zimmet, J. Shaw, G. Alberti // DiabetMed. – 2003. – Vol. 20. – № 9. – P. 693–702.

14. Саркисян, А. С. Сравнительная характеристика гипохолестеринемической активности сухих экстрактов подорожника большого, якорцев стелющихся и греческой сены у крыс / А. С. Саркисян // Человек и лекарство: тезисы докладов: Российский национальный конгресс. – 2003. – С. 658.

15. Devasena, T. Fenugreek affects the activity of β -glucuronidase and mucinase in the colon / T. Devasena, V. P. Menon // Phytotherapy research. – 2003. – Vol. 17. – P. 1088–1091.

16. Экспериментальное изучение противоожоговой активности жирного масла семян пажитника сеного / Т. В. Орловская [и др.] // Человек и лекарство: тез. докл. 12 Рос. нац. конгр. 18–22 апр. 2005 г. – М.,

2005. – С. 451–452.

17. Государственная фармакопея Республики Беларусь. Том 2. Контроль качества вспомогательных веществ и лекарственного растительного сырья / УП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении»; Под общ. ред. А. А. Шерякова. – Молодечно: «Типография «Победа», 2008. – 472 с.

18. Химический анализ лекарственных растений / Под ред. проф. Н. И. Гринкевич, доц. Л. Н. Сафронович. – М.: Высшая школа, 1983. – С. 52–53.

19. British Pharmacopoeia 2009. Vol. III. Herbal Drugs and Herbal Drug Preparations. – P. 498–499 (6980–6981).

Адрес для корреспонденции:

210023, Республика Беларусь,
г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,
УО «Витебский государственный
ордена Дружбы народов
медицинский университет»,
кафедра фармакогнозии
с курсом ФПК и ПК,
тел. раб.: 8 (0212) 64-81-78,
Кузьмичева Н. А.

Поступила 10.01.2017 г.

Г. Н. Бузук

ФИТОИНДИКАЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНДЕКС

Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет

Предложена методика определения экологического пространства сообществ растений (фитоценозов). Методика основана на ранжировании экологических амплитуд факторов видов фитоценоза (геоботанического описания) относительно их диапазона толерантности с последующим расчетом уравнений линейной регрессии для верхней и нижней границ значений баллов (градаций или ступеней) факторов. Дана возможная интерпретация построенных на основе линий регрессий геометрических фигур и их параметров. Предложен и обоснован экологический индекс, определена точность оценки экологического пространства фитоценоза.

Ключевые слова: экологические шкалы, линейная регрессия, экологическое пространство, экологический индекс.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка экологических факторов прямыми методами является достаточно дорогой, трудоемкой и, зачастую, невыполнимой, особенно для получения информации в полевых условиях при охвате большого

количества ландшафтов и их компонентов. Однако в геоботанике достаточно широко распространены фитоиндикационные методы, основанные на балльных экологических шкалах.

Как утверждает один из разработчиков экологических шкал Д. Н. Цыганов,

«растения дают нам обобщенные и усредненные характеристики экологических режимов, так как любое сообщество или популяция, и даже отдельный индивид обладают значительной инерцией в смысле реакции на изменение тех или иных параметров среды, т.е. отзываются на продолжительные, обобщенные, усредненные и направленные изменения режима, а не на его кратковременные, более или менее периодические пульсации. В этом смысле экологические шкалы дают оценку внешних условий обитания растений не в физико-химических выражениях, а в их биологическом отражении ибо представляют собой такие же условные единицы и также объективно отражают параметры экологической среды, как физико-химические отражают параметры состояния физической среды» [1].

Выделяют два типа экологических шкал: точечные (шкалы Элленберга и Ландольта) и диапазонные (шкалы Раменского, Цыганова, Дидуха) [2, 3]. При оценке местообитаний в первом случае используется непосредственно точка расположения вида по шкале фактора (экологический оптимум данного вида по фактору) с поправкой на его обилие, а во втором – специальные формулы.

В последнем случае, для каждого вида геоботанического описания определяют середину его амплитуды, умножают ее на числовое значение обилия, а затем произведения суммируют и делят полученную сумму на сумму числовых значений обилия:

$$\text{sum}(((x1 + x2)/2) \cdot px) / \text{sum}(px),$$

где $x1$ – левые амплитуды видов, $x2$ – правые амплитуды видов, px – значение обилия вида, sum – сумма.

При обработке данным методом оценка местообитания смещается от середины интервала максимального перекрытия в сторону середин диапазонов видов с высоким обилием и требует применения специальных поправочных коэффициентов [4, 5].

Кроме того, сам способ вычисления балловой оценки биотопа, как справедливо замечает Л. Б. Заугольнова [4, 5], таков, что никогда не могут быть получены крайние значения шкалы. Имеет место эффект

«сжатия» шкалы биотопов (по сравнению со шкалой для видов), который связан с тем, что большинство видов сообщества имеют широкую амплитуду. Чем больше таких видов, тем значительнее смещение балловой оценки биотопа к центру шкалы, при этом смещение оказывается несимметричным. Несимметричность смещения объясняется преобладанием в сообществе видов с широкой амплитудой [6].

Ранее нами был предложен новый способ оценки экологического пространства местообитаний [2, 3], основанный на применении регрессионного анализа и диапазонных экологических шкал Д. Н. Цыганова и Я. П. Дидуха [7, 8]. В его основе лежит положение о том, что лучшими индикаторными свойствами обладают виды с наименьшим диапазоном толерантности [9–11]. Для идеального индикатора этот диапазон стремится к нулю. Задача сводится к нахождению такого гипотетического индикаторного вида с нулевым диапазоном толерантности.

Целью настоящей работы явилась разработка более совершенной методики определения экологического пространства сообществ растений с применением диапазонных экологических шкал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные принципы методики были отработаны с использованием собственных геоботанических описаний и представленных на сайте «Ценофонд лесов Европейской России» [12, 13]. Для расчетов и визуализации полученных результатов использовали Excel и Matlab.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве нового подхода нами был применен расчет уравнений линейной регрессии для верхней и нижней амплитуд значений баллов (градаций или ступеней) экологических факторов видов фитоценоза (геоботанического описания) относительно их диапазона толерантности (длин амплитуд видов) [2–3].

$$Y = a + b \cdot X, \quad (1)$$

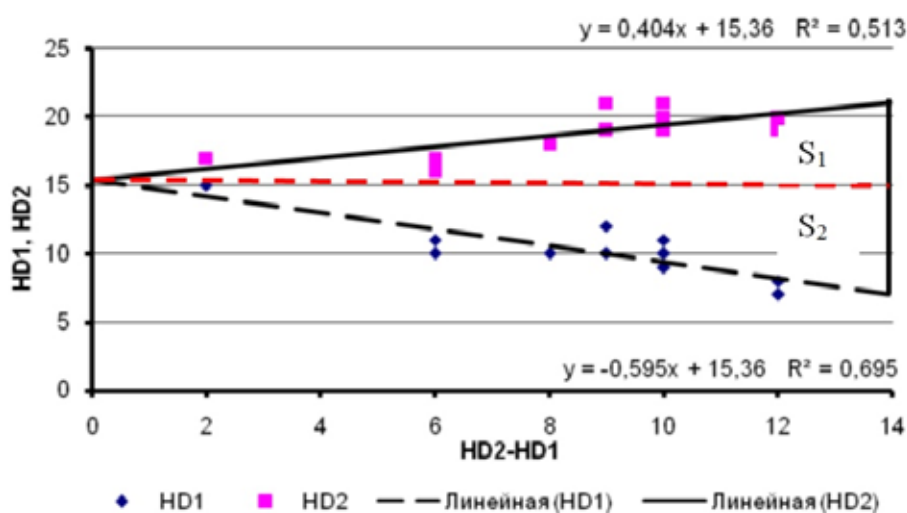
где a – свободный член линейной регрессии, b – наклон линии регрессии, X – переменная (фактор, в том числе: HD –

влажность почвы; FH – колебания (флуктуации) увлажнения; RC – кислотность почвы; SL – трофность почвы; CA – содержание карбонатов в почве; NT – содержание азота в почве; AE – аэрация почвы; TM – тепловой режим; OM – уровень гумидности климата; KN – уровень континентальности климата; CR – уровень низких температур; LC – уровень освещенности).

Свободный член (а) регрессии соответствует пересечению линий регрессии

с осью градаций факторов, а их равенство указывает на пересечение линий регрессии в одной точке. Эта точка и есть характеристика параметра (экологического фактора) для фитоценоза.

Далее, используя линии регрессии в качестве сторон, достраивали треугольник, затем опускали перпендикуляр с вершины треугольника (точка пересечения линий регрессии) на его основание. В результате по каждому фактору получали два прямоугольных треугольника (рисунок 1).



Ось абсцисс: градации длин амплитуд видов; по оси ординат: экологическая шкала (в данном случае – HD – увлажнение, баллы). S_1 – треугольник максимума, S_2 – треугольник минимума; $Y = a + b \cdot X$ – уравнение регрессии, где a – значение градации фактора для сообщества, R^2 – коэффициент детерминации, пунктирная линия – линия регрессии по минимальным значениям амплитуд видов, сплошная линия – линия регрессии по максимальным значениям амплитуд видов

Рисунок 1 – Уравнения регрессии верхнего (HD2) и нижнего (HD1) диапазонов влажности видов местообитания, ранжированных по величине их разности (HD2-HD1)

Площадь верхнего (S_1) и нижнего (S_2) треугольников рассчитывали по формуле:

$$\begin{aligned} S_1 &= 0,5 \cdot d_{\max} \cdot (d_{\max} \cdot b_1) \\ S_2 &= 0,5 \cdot d_{\max} \cdot (d_{\max} \cdot b_2) \end{aligned} \quad (2)$$

где b_1 и b_2 – наклон линии регрессии для верхнего и нижнего диапазонов толерантности, d_{\max} – максимальный диапазон толерантности видов в фитоценозе (геоботаническом описании) по фактору.

Далее рассмотрим возможную интерпретацию полученных геометрических фигур и их параметров.

Площади верхнего и нижнего треугольников сильно варьируют при переходе как от фактора к фактору, так и от фито-

ценоза к фитоценозу, от их равенства до практически полного отсутствия одного из них (рисунки 1, 2).

Равенство площадей верхнего (S_1) и нижнего (S_2) треугольников может быть расценено как свидетельство того, что значения фактора (или факторов) являются оптимальными для фитоценоза. В этом случае виды сообщества находятся в оптимальных условиях: достигается максимальное обилие видов сообщества при отсутствии лимитирующего воздействия других факторов. Отклонение площади треугольников в ту или иную сторону является следствием лимитирующего сверху или снизу режима напряженности фактора (градации фитоиндикационной шкалы).

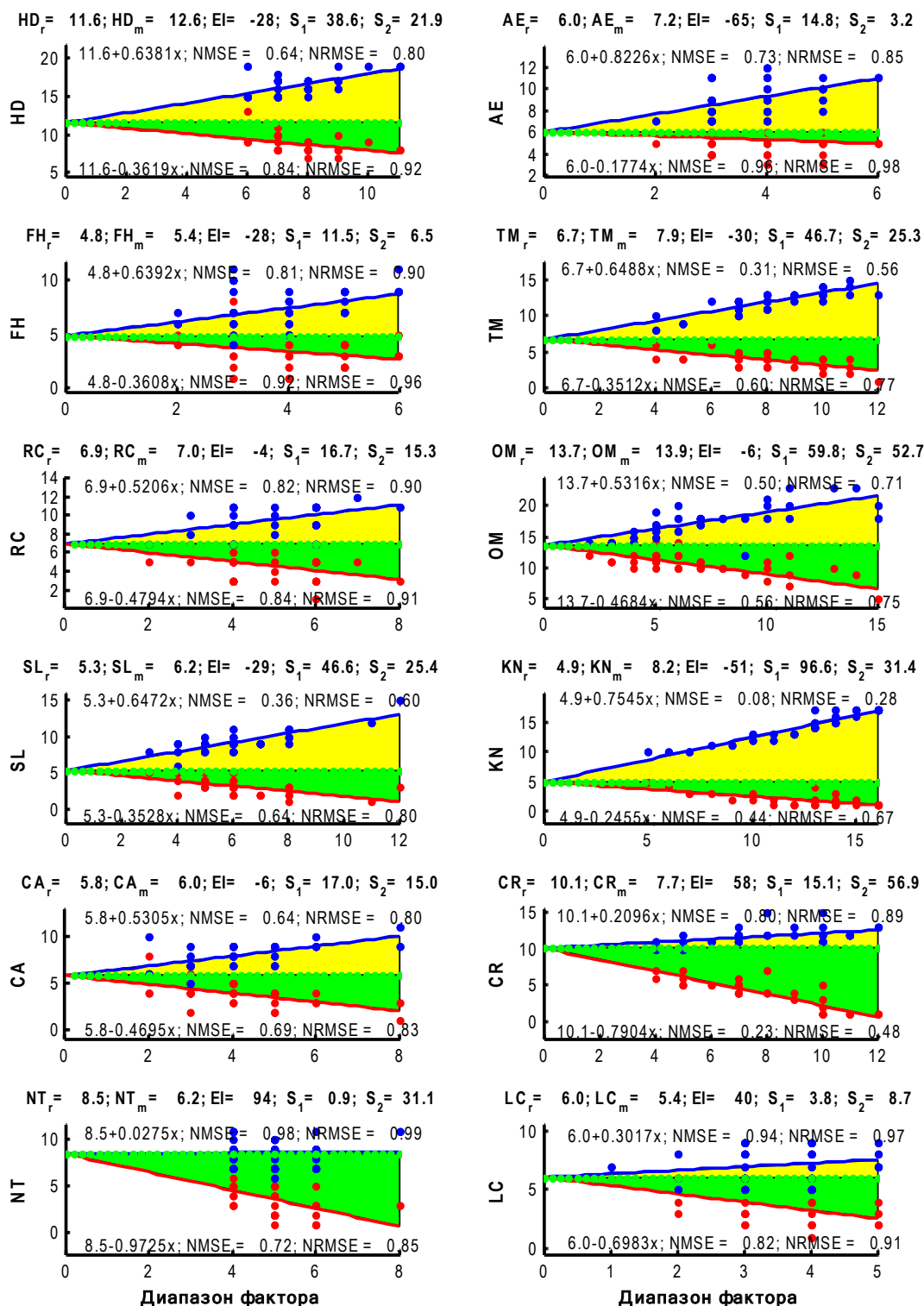


Рисунок 2 – Результаты фитоиндикационного оценивания сероольшаника чистотелового [12] на основе диапазоновых шкал Ya.P. Didukh [8]

При дальнейшем рассмотрении обнаруживается, что при равенстве площадей верхнего и нижнего треугольников (максимума и минимума) виды выстраиваются в линию по медиане экологической амплитуды. Такое явление ранее описал Д. Н. Цы-

ганов [1], а совокупность видов, представляющих собой объединение по их одинаковому положению медиан амплитуд, назвал частными экологическими свитами. Его термин свиты здесь близок к таковому у А. А. Ниценко [14], который понимал под

ним группу видов, обладающих сходными требованиями к условиям среды, а отчасти и сходными биологическими особенностями. В силу этого часто встречающиеся совместно в определенных местообитаниях и объединяющие виды с близкими экологическими оптимумами. При амплитудном подходе к экологическим характеристикам экологические оптимумы могут быть, с некоторыми оговорками, заменены медианами экологических амплитуд [1].

Для дифференцированной экологической оценки фитоценоза с целью выявления лимитирующих факторов для сообщества нами предложен экологический индекс (**EI**) фитоценоза (по конкретному фактору) [13]:

$$EI = 100 \cdot (S_2 - ((S_1 + S_2)/2)) / ((S_1 + S_2)/2), \quad (3)$$

где S_1 и S_2 – площади треугольника максимума (S_1) и треугольника минимума (S_2).

Более простая формула для расчета экологического индекса без нахождения площадей треугольников через модули наклона линий регрессии:

$$EI = 100 \cdot (|b_2| - ((|b_1| + |b_2|)/2)) / ((|b_1| + |b_2|)/2), \quad (4)$$

где b_1 и b_2 – наклон линии регрессии по максимальным (b_1) и минимальным (b_2) значениям амплитуд видов.

При оптимальных условиях фитоценоза (типа сообщества) по конкретному фактору S_1 и S_2 равны, также как равны модули наклона линий регрессий b_1 и b_2 и, соответственно, **EI** равен 0. Знак индекса показывает качество лимитирующего фактора своим недостатком или избытком: при отрицательных значениях индекса – лимитирующее влияние в области экологического минимума, а при положительных – ограничения по фактору в области экологического максимума.

Как можно видеть из данных, представленных на рисунке 2, близким к оптимальным являются значения факторов RC, CA и OM, в меньшей степени – HD, FH, SL, TM и LC. Наибольшее ограничивающее влияние на состав фитоценоза оказывают с нижней стороны шкалы – KN и, особенно, –

AE, а с верхней – CR и, особенно, – NT. Таким образом, наибольшее ограничивающее (формирующее состав видов) влияние на фитоценоз оказывает высокая аэрация (AE), а также высокий уровень азота в почве (NT).

Интересным моментом является также и то, что для фактора в оптимуме виды объединяются в сообщество по одинаковому положению медиан амплитуд, в то время как для ограничивающих факторов, таких как AE и NT, ограничение происходит по верхней или нижней амплитуде видов.

Еще в процессе разработки, а также рядом авторов, которые применяли разработанный нами алгоритм расчета экологического пространства фитоценоза с использованием регрессии [15], было обращено внимание на существование отклонений в результатах, полученных традиционным способом (с индексом m) и с применением регрессии (с индексом r) (рисунок 2). Эти различия были минимальными для видов с оптимумом в середине шкалы и достигали наибольших значений при оценке экологического пространства экстремальных фитоценозов, например, сосняков сфагновых или лишайниковых.

Проведенные расчеты показали тесную связь между разностью значений факторов, получаемых двумя методами, и экологическим индексом. Коэффициент линейной корреляции лежал в диапазоне 0,91–0,99. Данное обстоятельство с учетом наличия смещения при оценке экологического пространства традиционным способом, о чем упоминалось выше, дает основание полагать, что регрессионный способ лишен смещения.

Для оценки точности оценки экологического пространства местообитаний были рассчитаны ошибки: NMSE – нормализованная средняя квадратичная ошибка и NRMSE – нормализованный корень квадратный средней квадратичной ошибки (аналог стандартного отклонения). Нормализация требовалась в связи с различным числом градаций в шкалах различных факторов.

Как можно видеть из представленных на рисунке 2 данных, значения NMSE и NRMSE для исследованного фитоценоза лежат в пределах 0,08–0,99, т.е. не превышают 1 балла (градации).

Таким образом, регрессионный способ оценки экологического пространства фи-

тоценозов обеспечивает точность в пределах ± 1 балла (градации фактора), лишен смещения и позволяет выявлять факторы, как находящиеся в оптимуме, так и оказывающее наибольшее ограничивающее влияние на состав сообщества растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика определения экологического пространства сообществ растений (фитоценозов), основанная на ранжировании диапазонов экологических факторов видов фитоценоза (геоботанического описания) относительно их диапазона толерантности, с последующим расчетом уравнений линейной регрессии для верхнего и нижнего диапазонов значений баллов (градаций или ступеней) факторов. Дана возможная интерпретация построенных на основе линий регрессий геометрических фигур и их параметров в плане оптимальности факторов местообитания для составляющих фитоценоз видов. Предложен экологический индекс для оценки лимитирующих факторов для фитоценозов.

SUMMARY

G. N. Buzuk PHYTOINDICATION USING ECOLOGICAL SCALES AND REGRESSION ANALYSIS: ECOLOGICAL INDEX

The technique for the definition of ecological environment of plant communities has been suggested (phytocenoses). It's based on ranking of environmental amplitude factors of phytocenosis types (geobotanical description) relative to their tolerance range with subsequent calculation of linear regression equations for upper and lower limits of points values (gradations or steps) factors. Possible interpretation of geometric figures and their parameters based on regression lines has been given. Environmental index has been proposed and justified, the accuracy of phytocenosis environmental space assessment has been evaluated.

Keywords: environmental scales, linear regression, environmental space, environmental index.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыганов, Д. Н. Экоморфы флоры

хвойно-широколиственных лесов. — М.: Наука, 1976. — 60 с.

2. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Вестник фармации. — 2007. — № 3. — С. 44–50.

3. Бузук, Г. Н. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д. Н. Цыганова) / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Ботаника (исследования): Сборник научных трудов / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. — Минск: Право и экономика, 2009. — Вып. 37. — С. 356–362.

4. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках европейской России. — М.: Научный мир, 2000. — 196 с.

5. Информационно-аналитическая система для оценки текущего состояния лесных сообществ / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Препринт: Пущино — ПНЦ РАН, 1995. — 51 с.

6. Верификация балловых оценок местообитания по некоторым параметрам среды / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Лесоведение. — 1998. — № 5. — С. 48–58.

7. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов // М.: Наука. 1983. — 196 с.

8. Didukh, Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh // Kyiv: Phytosociocentre, 2011. — 176 p.

9. Зверев, А. А. Сравнительный анализ растительности с использованием фитоиндикационных шкал / А. А. Зверев // Сборник статей и лекций IV Всероссийской школы-конференции «Актуальные проблемы геоботаники» (1–7 октября 2012 г.). — Уфа: Издательский центр «Медиа-Принт», 2012. — С. 25–46.

10. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений: монография / Н. В. Турмухаметова [и др.]; под общ. ред. проф. Л.А. Жуковой; Мар. гос. ун-т. — Йошкар-Ола, 2010. — 368 с.

11. Королук, А. Ю. Использование экологических шкал в геоботанических исследованиях / А. Ю. Королук // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. — 2007. — С. 177–199.

12. Ханина, Л. Г. Характеристика экологических шкал / Л. Г. Ханина // Ценофонд лесов Европейской России // Ре-

жим доступа: <http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm>. – Дата доступа: 16.01.2016.

13. Бузук, Г.Н. Лимитирующие факторы для фитоценозов: технология оценки (на примере сосновых лесов центральной Беларуси) / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов, Р. В. Цвирко // Социально-экологические технологии (Москва). – 2017. – № 1.

14. Ниценко, А. А. Об изучении экологической структуры растительного покрова / А. А. Ниценко // Ботанический журнал. – 1969. – № 7. – С. 1002–1014.

15. Золотова, Е.С. Использование шкал Д.Н. Цыганова для анализа экологического пространства типов леса Среднего Урала /

Е. С. Золотова, Н. С. Иванова // Фундаментальные исследования, 2015. – № 2 (часть 23). – С. 5114–5119.

Адрес для корреспонденции:

210023, Республика Беларусь,
г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,
УО «Витебский государственный
ордена Дружбы народов
медицинский университет»,
кафедра фармакогнозии
с курсом ФПК и ПК,
тел. раб.: 8 (0212) 37-09-29,
buzuk@tut.by,
Бузук Г. Н.

Поступила 10.05.2017 г.

Н. А. Кузьмичева, Д. И. Шевчук

**МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТЕВИИ РЕБОДИ
В КОМНАТНОЙ КУЛЬТУРЕ**

Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет

*В статье описаны результаты выращивания стевии Ребоди (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsl.) в комнатной культуре в течение двух вегетационных периодов. Показано, что растения стевии проходили полный цикл развития: достигали генеративной стадии, завязывали плоды и давали жизнеспособные семена. Изучены морфологические признаки выращенных растений, а также анатомическое строение их листьев. Микроскопическими диагностическими признаками листьев являются простые многоклеточные тонкостенные волоски, клетки которых часто деформированы или перекручены.*

Ключевые слова: *стевия Ребоди, *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsl., культивирование, фенофазы, морфология, микроскопические диагностические признаки.*

ВВЕДЕНИЕ

Стевия Ребоди (стевия медовая), *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsl. (семейство Астровые (Asteraceae)) – травянистое многолетнее растение, произрастающее в диком виде в Южной и Центральной Америке. Стевия имеет пищевое и лекарственное значение. Это растение используется во многих странах как подсластитель, в промышленных масштабах культивируется с этой целью в Бразилии, США, Канаде, Китае, Японии, Корее, Израиле. Экстракты на основе стевии и выделенные из нее дитерпеновые гликозиды сочетают в себе такие органолептические свойства, как сладость и относительное отсутствие горечи и посторонних привкусов, с безопасностью при длительном применении и низ-

кой калорийностью [1, 2]. Это позволяет использовать их в разнообразных диетах как для снижения веса, так и для профилактики и лечения сахарного диабета, поскольку доказано гипогликемическое действие листьев стевии. Кроме того, экстракт стевии защищает почки и печень больных сахарным диабетом от повреждений [3].

В большинстве стран мира экстракт стевии уже используется в кондитерских изделиях, винах, плодово-ягодных сиропах, безалкогольных напитках, при производстве зубной пасты и жевательных резинок. В Японии часто стевия применяется в соленых продуктах, таких, как: маринованные овощи, высушенные морские продукты, соевый соус и продукты мисо, – поскольку она смягчает резкий вкус поваренной соли [2].